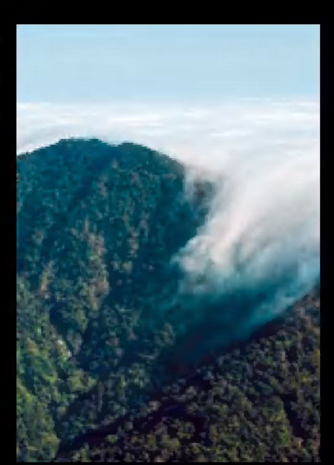
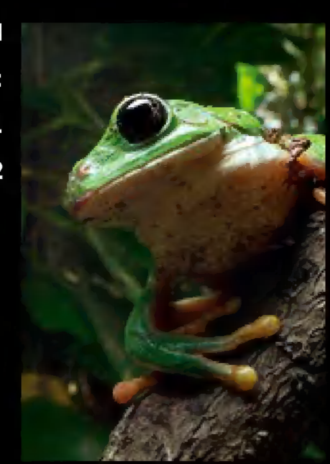


LOS ÁRBOLES ¿VERDADEROS DIOSES DE LA LLUVIA? PÁG: 7



ADAPTACIÓN A UN AMBIENTE CAMBIANTE: LOS ANFIBIOS. PÁG: 12



NÚM. 152 SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 2020 ISSN: 1870-1760

BioDIVERSITAS

BOLETÍN BIMESTRAL DE LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD

LOS HONGOS

La mayoría de nosotros hemos escuchado en algún momento hablar de los hongos, ya sea de los microscópicos como los que salen en los pies, en las tortillas o el pan; u hongos macroscópicos como los que comemos en pizzas y ensaladas. Estos organismos han sido de gran importancia en las actividades humanas: desde siglos atrás se utilizan para la elaboración de productos como pan, vino, queso y medicamentos; además, diferentes grupos étnicos alrededor del mundo consumen hongos silvestres con fines alimenticios, medicinales y ceremoniales.







LOS HONGOS
no son sólo una cara bonita

MARKO GÓMEZ HERNÁNDEZ[1], ETELVINA GÁNDARA[2]

Parte inferior de *Entoloma serrulatum* en bosque de encino de la Reserva La Martinica, Veracruz.
Fotos: © Alan Rockefeller

Hongo *Mycena perlae* colectado en el bosque de niebla del centro de Veracruz. Es una especie de hongo bioluminiscente en la que solamente brilla el píleo o sombrero, y se requieren varios minutos de exposición en la oscuridad para registrar su resplandor en una fotografía.
Foto: © Alan Rockefeller

¿Qué hongo con los hongos?

Además de su importancia en las actividades humanas, los hongos son parte clave en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres por las asociaciones mutualistas que forman con la mayoría de las plantas, por su actividad como patógenos y por su participación en el ciclo de nutrientes al ser los principales degradadores de materia orgánica en selvas y bosques.[1, 2] Asimismo, se les ha observado creciendo en casi todos los tipos de hábitats conocidos, desde ambientes naturales hasta sustratos artificiales como tela, plástico, hule, metal, vidrio y papel. A pesar del poco interés que en general se les ha puesto a los hongos en comparación con las plantas y animales, son tan importantes que el mundo como lo conocemos no podría existir sin ellos; si de un momento a otro desaparecieran de nuestro planeta, los ecosistemas colapsarían y la mayor parte de los seres vivos perecerían.

Debido a sus características tan particulares, a los hongos se les clasifica en un reino llamado Fungi, separado del de las plantas, animales o bacterias. Actualmente se sabe que los hongos y animales descienden de un ancestro común del cual se separaron hace millones de años, prueba de esto es que la pared celular de los hongos contiene quitina y glucógeno, compuestos químicos que abundan en los órganos o estructuras de diferentes animales. Por más de dos siglos, los estudiosos de los hongos (hoy en día llamados micólogos) han debatido acerca de cuáles especies deben ser registradas dentro de este reino, pero en las últimas dos décadas se han generado enormes avances en su clasificación gracias a los análisis de ADN.[3] Sin embargo, aún existen muchas deficiencias metodológicas en este tipo de análisis, y clasificar todas las especies con precisión resulta una tarea casi imposible. Pero además de esto, la micología (ciencia dedicada al estudio de los hongos) ha recibido menos apoyo y atención que otras áreas de la biología,[4] por lo que llevar a cabo estudios de este tipo constituye un gran esfuerzo y requiere bastante tiempo.

Los hongos son uno de los grupos de organismos más diversos en nuestro planeta; no obstante, al igual que en otros grupos así de grandes, el número de especies conocidas es extremadamente bajo. No contamos con un inventario completo de las especies de hongos existentes en algún área específica del planeta, por lo que para tener una aproximación del número de especies de hongos en determinadas regiones o a nivel global se han realizado estimaciones utilizando datos obtenidos alrededor del mundo. Gracias a estas estimaciones sabemos que el reino Fungi cuenta con un número simi-

lar de especies al del reino animal, pero es seis veces mayor al número de especies de plantas.[5] Se calcula que existen aproximadamente 5.1 millones de especies de hongos, de las cuales solamente se conocen cerca de 99 mil.[3] Con base en esta estimación, se calculó que en México podría haber más de 200 mil especies de hongos, pero sólo se conoce el 5% de las especies.[6]

Los fascinantes hongos macroscópicos

Se caracterizan por la producción de esas "fructificaciones" que conocemos como hongos (por ejemplo, los champiñones o las setas). Se estima que existen entre 53 y 110 mil especies de hongos macroscópicos en el mundo;[7] de ellas casi 9 mil han sido registradas en México.[8] Estos hongos han llamado nuestra atención y nos han maravillado desde tiempos remotos debido a su extraordinaria variedad en formas, tamaños, colores, olores y sabores, llegando a ser incluso materia prima para la creación de un sinfín de cuentos, mitos y leyendas. Por ejemplo, se cree que la tradición del árbol de navidad surge debido a que en el siglo VIII las personas de aldeas al norte de Europa salían durante el invierno a los bosques de abetos para colectar *Amanita muscaria* (el famoso hongo rojo con puntos blancos) y utilizarlo en las festividades religiosas. La tradición de colectar y usar este hongo en esas aldeas se fue perdiendo con el paso del tiempo, y en su lugar la gente empezó a poner un árbol de abeto dentro de sus casas. Debajo del árbol colocaban regalos envueltos en papel rojo con adornos blancos simulando las fructificaciones del famoso hongo, el cual suele crecer junto a los abetos durante la temporada de lluvias.[9]

A lo largo del tiempo han surgido historias que relacionan a los hongos con seres mágicos del bosque, como duendes y hadas; se han encontrado además pinturas y figurillas de diferentes épocas alrededor del

Debido a las características tan especiales que tienen los hongos se les clasifica en un reino llamado Fungi, separado del reino animal, del vegetal y de las bacterias.



Gymnopus iocephalus creciendo dentro un bosque de Liquidambar en Arroyo Seco, Veracruz.



Chlorociboria sp. en un bosque templado de Arroyo Seco, Veracruz, apreciado por su hermoso color.

mundo en las que se observan pequeñas formas humanas junto a enormes hongos. Hay quienes aseguran que la creación de estos seres del bosque y figurillas se inspiró en el "gigantismo o macropsia", efecto producido por los hongos alucinógenos que ocasiona en las personas la sensación de ser diminutos y que los objetos se vean más grandes de lo que en realidad son.[10] Sin embargo, lo fascinante de estos organismos no se limita a la ficción y misticismo que hay en torno a ellos: poseen particularidades biológicas que han impresionado a científicos y público en general.

Algo que a muchos biólogos nos causa fascinación e interés son las estrategias que tanto plantas como hongos han desarrollado para dispersar sus semillas y esporas (respectivamente), en las que los animales, el viento y el agua tienen un papel principal como vectores de dispersión. Sin embargo, pueden existir ambientes donde no siempre se cuenta con alguno de estos vectores, por lo que en algún momento de su historia evolutiva los hongos desarrollaron una sorprendente forma de dispersar continuamente las esporas: ¡empezaron a crear su propio viento! Para esto, el hongo libera energía en forma de calor, ocasionando que la humedad en su superficie se evapore y el cuerpo del hongo se enfríe junto con el aire que está en contacto con él. Ya que el aire frío es más denso que el caliente, tiende a fluir formando una corriente de aire que lleva consigo las esporas a lugares donde pueden tener mejores condiciones ambientales para el crecimiento del hongo.[11]

Otro ejemplo de lo impresionantes que pueden ser los hongos macroscópicos nos lo muestra la especie *Armillaria ostoyae*. Hasta finales del siglo pasado los organismos

registrados más grandes del planeta eran la ballena azul que puede medir un poco más de 30 m de longitud y el árbol secuoya que puede alcanzar aproximadamente 100 m de altura. Pero a principios del presente siglo, gracias a los análisis moleculares, en un parque de Oregón, Estados Unidos, se encontró un individuo de *A. ostoyae* que abarca un área de 9.6 km^2 (aproximadamente 900 canchas de futbol), siendo hoy en día el organismo conocido más grande del mundo y quizás siga manteniendo su título por un largo tiempo. Además, se le hizo al hongo un análisis para calcular su edad y se determinó que tiene aproximadamente 2 400 años.[12] Aunque el organismo más viejo del mundo es un individuo de *Pinus longaeva* con 5 000 años, este hongo de Oregón es ¡definitivamente un hongo muy viejo!

Como mencionamos al principio de este artículo, los hongos son realmente importantes para el funcionamiento y salud de los ecosistemas, ya que forman asociaciones mutualistas con casi el 95% de las plantas, donde el hongo se beneficia al recibir carbohidratos de la planta y la planta a cambio recibe nutrientes como nitrógeno y fósforo que el hongo obtiene del suelo.[13, 14]

Recientemente, un grupo de científicos descubrió que los hongos forman una red subterránea que conecta los árboles a lo largo de grandes extensiones de bosque, permitiéndoles intercambiar nutrientes entre ellos y comunicarse. Esta comunicación se lleva a cabo por medio de un lenguaje químico; por ejemplo, si un árbol es infectado por una bacteria éste puede advertirles a los demás árboles a fin de que puedan producir a tiempo algún tipo de defensa contra ese patógeno.[15]

Otra de las funciones relevantes que tienen los hongos dentro de los ecosistemas es que son los principales degradadores de materia orgánica (animales muertos, hojarasca, ramas, troncos, etc.), lo cual es esencial para que se lleve a cabo el ciclo de nutrientes y para que puedan existir los bosques junto con los organismos que ahí habitan. Hay especies que degradan exclusivamente la madera, debido a que se alimentan de sustancias

Los hongos forman una red subterránea que conecta los árboles a lo largo de grandes extensiones de bosque.



Al llamativo hongo *Amanita muscaria* se le atribuyen propiedades alucinógenas. Bosque de las faldas del Popocatépetl.



Descolea sp. que crece en un bosque de galería dominado por sauces en Cuilapam de Guerrero, Oaxaca.
Foto: © Cesar Kevin Pérez Pacheco

orgánicas que forman parte de la pared celular de los árboles. Los hongos de la madera son particularmente importantes no sólo por su función como degradadores y porque entre ellos se encuentran especies con propiedades alimenticias y medicinales, como las setas (*Pleurotus* spp.) y el reishi (*Ganoderma lucidum*), sino también porque durante el proceso de degradación de la madera proporcionan una gran variedad de recursos y hábitats a otros organismos.[16]

Como se habrán dado cuenta, los hongos despiertan un enorme interés y son relevantes en diferentes aspectos; sin embargo, son organismos altamente susceptibles a modificaciones de su hábitat. Se ha sugerido que la diversidad de los hongos está determinada por una combinación de la estructura del bosque, el tipo de especies de árboles y las condiciones ambientales.[17] Es por ello que la perturbación o fragmentación del bosque puede influir enormemente en las comunidades de hongos macroscópicos, ocasionando tanto la disminución de sus poblaciones como la pérdida de especies. Necesitamos tomar conciencia de lo importante que es conservar los bosques, no sólo para proteger la diversidad de hongos sino también de otros grupos como plantas y animales. En conjunto, estos grupos de organismos mantienen el equilibrio y buen funcionamiento de los ecosistemas terrestres, de los cuales depende la vida de gran parte de las especies del planeta, incluyendo la nuestra.

Bibliografía

[1] Lodge, D. J. 1992. Nutrient cycling by fungi in a wet tropical rainforest. En S. Isaac, J. C. Frankland, R. Watling y A. J. S. Whalley (eds.). *Aspects of tropical mycology*. Cambridge: Cambridge University Press.

[2] Schmit, J. P. y G. M. Mueller. 2006. An estimate of the lower limit of global fungal diversity. *Biodiversity and Conservation* 16: 99-111.

[3] Blackwell, M. 2011. The fungi: 1, 2, 3... 5.1 million species? *American Journal of Botany* 98: 426-438.

[4] Cannon, P. F. 1997. Strategies for rapid assessment of fungal diversity. *Biodiversity and Conservation* 6: 669-680.

[5] Berbee , M. L. y J. W. Taylor . 2010 . Dating the molecular clock in fungi. How close are we? *Fungal Biology Reviews* 24: 1-16.

[6] Guzmán, G. 1998. Inventory of the fungi of Mexico. *Biodiversity and Conservation* 7: 369-384.

[7] Hawksworth, D. L. y R. Lücking. 2017. Fungal diversity revisited: 2.2 to 3.8 million species. *Microbiology Spectrum* 5: 1-17.

[8] Aguirre-Acosta, E., M. Ulloa, S. Aguilar, J. Cifuentes-Blanco y R. Valenzuela. 2014. Biodiversidad de hongos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 76-81.

[9] James, A. 2000. *Mushrooms and Mankind: The Impact of Mushrooms on Human Conscious ness and Religion*. Escondido: The Book Tree.

[10] Gastón, G. 2011. El uso tradicional de los hongos sagrados: pasado y presente. *Etnobiología* 9: 1-21.

[11] American Physical Society's Division of Fluid Dynamics. 2013. The mushrooms, my friend, are blowing in the wind. *ScienceDaily*.

[12] Schmitt, C. L. y M. L. Tatum. 2008. *The Malheur National Forest location of the world's largest living organism*. Portland: United States Department of Agriculture.

[13] Smith, S. E. y D. J. Read. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*, 2ª ed. San Diego: Academic Press.

[14] Dighton, J. 2003. *Fungi in Ecosystem Processes*. Nueva York: Marcel Dekker.

[15] Simard, S. W. y D. M. Durall. 2004. Mycorrhizal networks: a review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany* 82: 1140-1165.

[16] Odling-Smee, F. J., K. N. Laland y M. N. Feldman. 2003. Niche Construction: The Neglected Process in Evolution. Princeton, N.J.: Princeton University Press.

[17] Gilbert, G. S., J. Gorospe y L. Ryvarden. 2008. Host and habitat preferences of polypore fungi in Micronesian tropical flooded forests. *Mycological Research* 112: 674-680.

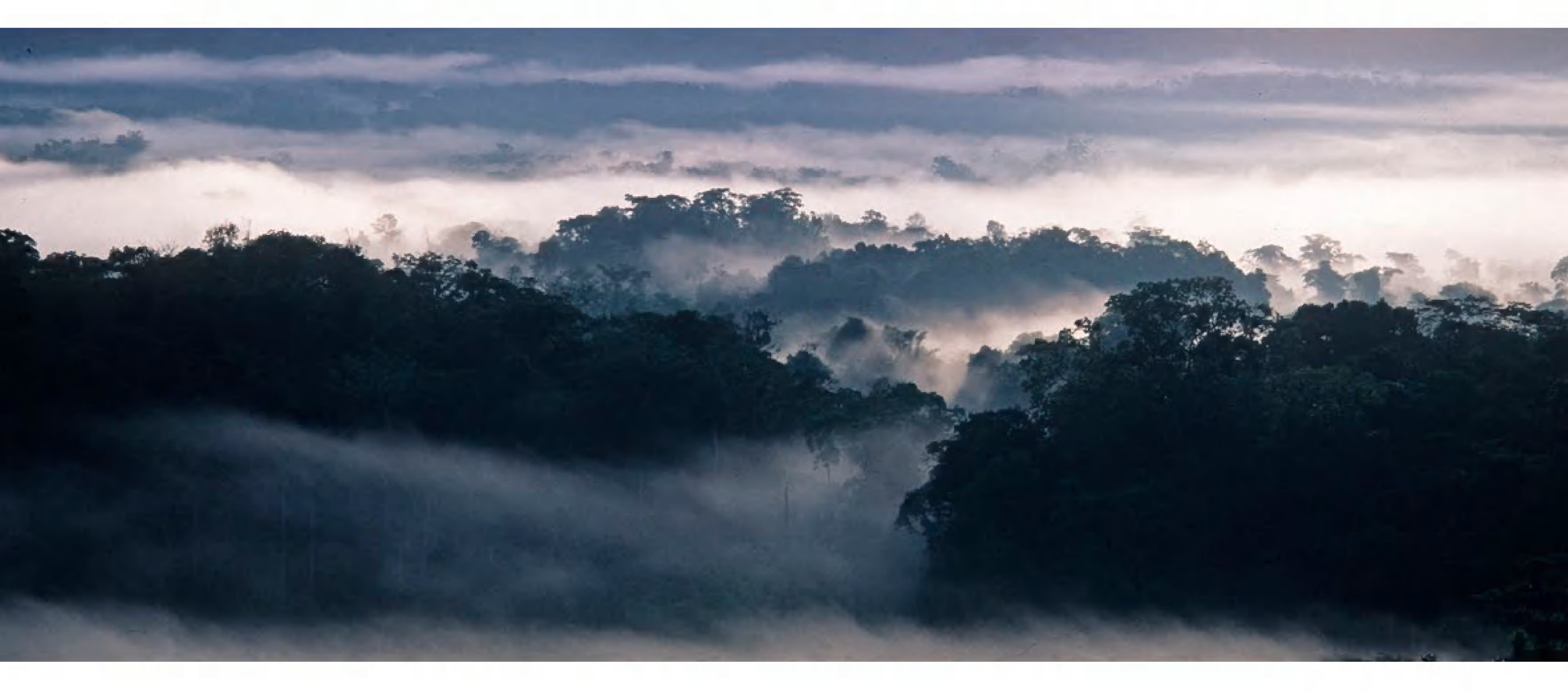
[1] CONACYT-CIIDIR Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca; mrk.gmz@gmail.com

[2] Facultad de Ciencias Biológicas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla; etelvina.gandara@gmail.com

LOS ÁRBOLES

¿verdaderos dioses de la lluvia?

DANIEL FERNÁNDEZ MOLINA[1], JOSÉ LUIS ANDRADE TORRES[2], EDUARDO CEJUDO ESPINOSA[3]



La formación de neblina en la Reserva de la Biosfera Montes Azules ocurre gracias a la transpiración de los bosques.
Fotos: © Fulvio Eccardi

Relevantes descubrimientos científicos realizados en la selva del Amazonas por Joao Pablo Nardin, en 2012, nos demuestran que la existencia de árboles genera y atrae la lluvia en la región. Si bien ya sabíamos que los bosques intervienen en el ciclo del agua, las nuevas investigaciones sugieren que los árboles en conjunto provocan y son un imán para la lluvia.

¿Qué se sabe de la relación bosque-agua-clima?

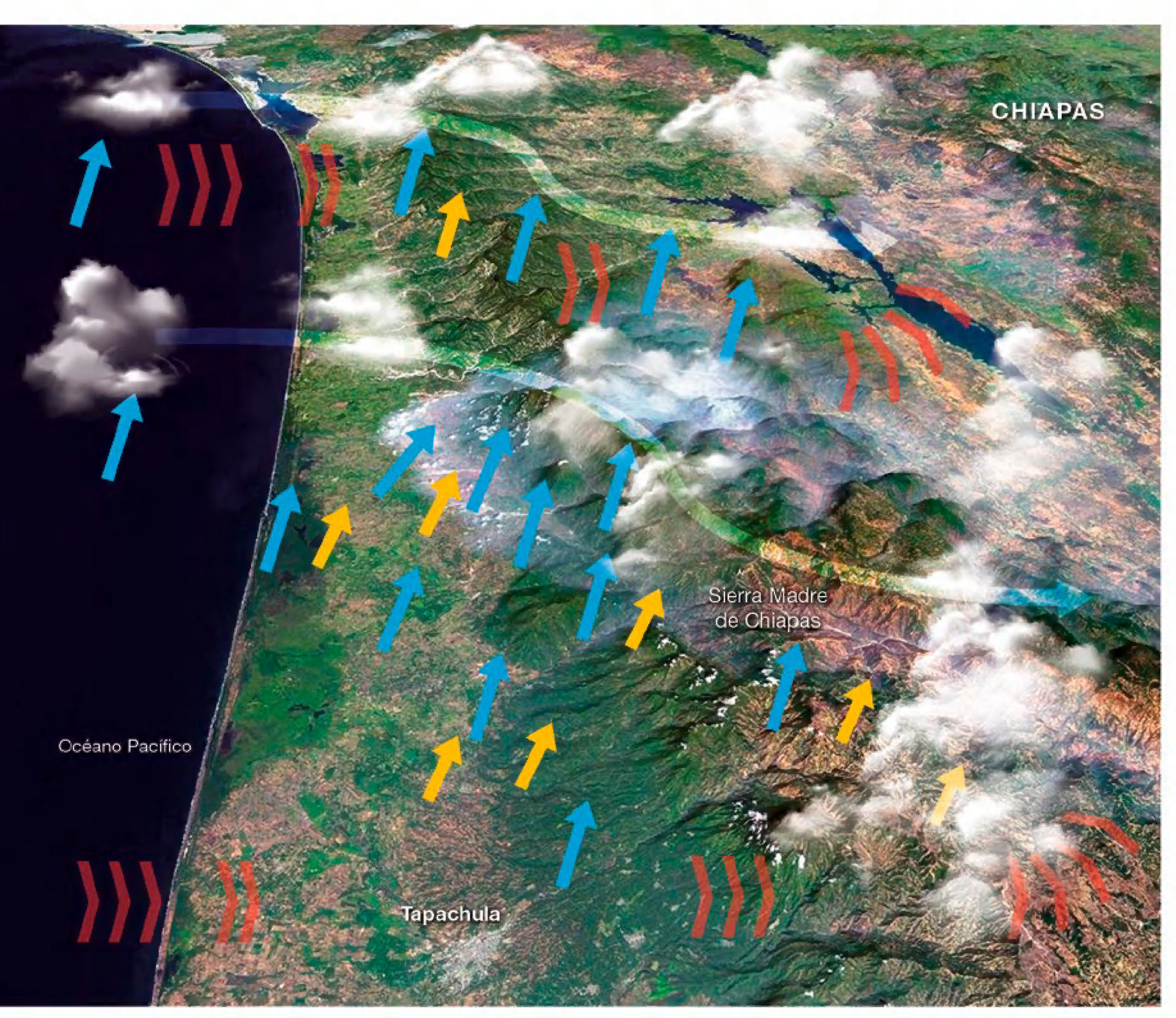
Hasta ahora han estado bien documentadas las interacciones entre los bosques y el agua, pero ¿cómo es que se da esta relación? En términos sencillos, sabemos que después de llover los árboles absorben el agua del suelo, de la cual una parte se utiliza en la fotosíntesis, otra parte se queda guardada en el tronco (u otras partes del árbol) y otra transpira hacia la atmósfera por medio de poros que se encuentran en las hojas llamados estomas. Esta agua que es transpirada por las hojas puede volver a condensarse en la atmósfera y con ello contribuir a la generación de nubes y más lluvia.

No sólo eso: las raíces de los árboles y plantas son estructuras que pueden formar extensas redes conteniendo de esta manera al suelo y con él, el agua. Las raíces además forman conductos en el suelo, lo que ayuda al desplazamiento del agua, ayudando así, entre otras cosas, a la conducción del agua hacia arroyos, cuerpos de agua, al subsuelo y también a los acuíferos..

De esta manera los bosques tienen una gran fuerza en la regulación del clima. En los trópicos, los bosques tienen un efecto neto de enfriamiento, es decir, la temperatura del bosque y su región se mantienen por debajo de la que se observa en zonas sin áreas forestales o deforestadas. Un buen ejemplo, que ustedes tal vez ya hayan vivido, es el aumento de la temperatura en las ciudades a causa de la disminución o carencia de arbolado. Es evidente que a falta de árboles en la ciudad, la temperatura aumenta.

Lo que los nuevos descubrimientos nos dicen

Gracias a las investigaciones y análisis que llevan a cabo los científicos es posible que como sociedad podamos conocer y quedarnos fascinados del gran poder que representan los bosques. Resulta que los árboles que conforman los bosques tienen su propio carisma y, así como los seres humanos, los bosques también segregan sustancias de todo tipo, tanto dentro de su estructura como fuera de esta. Hasta ahora se sabía que estas sustancias provenientes de los árboles ayudaban a los bosques a comunicarse y protegerse contra los ataques de enfermedades y de otros organismos, tales como insectos y hongos. No obstante, se ha descubierto que dichas sustancias también tienen un efecto sobre el clima. Estas señales químicas que ahora son el centro de atención son conocidas como compuestos orgánicos volátiles o “VOCs” (por



Formación de lluvia en zonas boscosas

Diagrama de la formación de nubes y lluvia gracias a los bosques. El proceso depende del vapor de agua del océano, la transpiración y partículas VOCs de los árboles, y el gradiente de baja presión que los bosques generan.

sus siglas en inglés de Volatile Organic Compounds). Por comodidad, así es como les llamaremos en este texto.

El papel de los VOCs es bien conocido en las interacciones del ecosistema. Por un lado, tienen una función muy importante en la atracción de polinizadores hacia las plantas y, por el otro, las plantas los usan como mecanismos de defensa contra la amenaza de insectos herbívoros. Sin embargo, por años también han sido parcialmente criminalizados: según algunos estudios científicos, los VOCs que se generan en exceso en las ciudades —principalmente por la quema de combustibles fósiles— provocan una saturación en la atmósfera de las zonas urbanas, lo que tiene como resultado el incremento de compuestos como el ozono, que en grandes cantidades es tóxico para los seres humanos. Sin embargo, los VOCs que se emiten en las ciudades son de diferente composición química a los que generan los bosques de manera natural.

Pero entonces… ¿cómo es posible que los VOCs sean beneficiosos?

En los bosques tropicales la historia es otra. ¡Los VOCs desempeñan un papel importantísimo! Estas moléculas, tras ser expulsadas por los árboles hacia la atmósfera, funcionan como imanes para las moléculas de agua que se encuentran suspendidas en el aire. Gracias a los VOCs, las moléculas de agua en la atmósfera —al condensarse cada vez más y más— formarán nubes y después lluvia. Es decir, ¡sin estos compuestos habría menos lluvia!

Contrario a lo que se observa en los bosques, en las grandes ciudades —además de que hay una menor liberación de vapor de agua por la falta de árboles— lo que se presenta es una saturación de emisiones de todo tipo, no únicamente VOCs. Esto tiene como consecuencia el efecto contrario, es decir, menor cantidad de lluvia. Por ende, el crecimiento urbano descontrolado reduce las precipitaciones y prolonga la sequía en ciudades.

Pero no sólo eso. De manera indirecta los bosques también atraen más lluvia que la que ellos mismos crean. Al generar las nubes, se forma un gradiente de baja presión en la región o zona donde se encuentra el bosque, es decir, se genera algo así como un vacío en el área del bosque. A este efecto se le conoce como *bomba biótica* y este vacío atrae más moléculas de agua y nubes que pueden encontrarse a kilómetros de distancia, por ejemplo en los océanos y así generar más lluvia en la región. Es decir, sin árboles habría menos lluvia.

¿Por qué habría de importarnos?

Los bosques mediante la segregación de las asombrosas moléculas VOCs producen la condensación de la lluvia y, posteriormente, un imán para más lluvia. Ahora bien, ¿qué pasaría con la deforestación? ¿Qué sucede cuando los árboles nativos son reemplazados por otras especies?

Con la deforestación, seguramente ocurriría un incremento en la temperatura de una región, una menor formación de nubes, una disminución en la precipitación, además de una pérdida de agua en el subsuelo, ya que ésta no se concentraría en una zona; el suelo se volverá impermeable y no habría recarga de acuíferos. Respecto a la segunda pregunta, la respuesta es un poco más compleja. Distintas especies de árboles generan diferentes tipos de VOCs, así como diversas cantidades de éstos. Muchos podrían pensar en reemplazar algunas especies de árboles por otras más productivas en lo que se refiere a estos compuestos, pero esto también tendría un efecto adverso en términos ecológicos, sobre todo en los bosques. Otro factor a tomar en cuenta es que las investigaciones y descubrimientos son recientes, por lo que hacen falta más estudios en todos los ecosistemas, incluyendo los presentes en México.

Finalmente, con la pérdida de bosques y selvas tendríamos como resultado una disminución en precipitación en grandes magnitudes. Es decir, no sólo se perderá la capacidad de formación de lluvia, sino que, además, habrá menos atracción de nubes y vapor de agua proveniente de zonas lejanas a los bosques, por lo que el efecto sería aún peor.

¿Qué tanto se ha investigado sobre esto en los bosques de México?

A lo largo de nuestro territorio encontramos ecosistemas de todo tipo: la Selva Lacandona en Chiapas, las selvas caducifolias en la península de Yucatán y la costa del Pacífico, los bosques de niebla en Veracruz y los bosques templados a lo largo de las sierras Madre Occidental y Oriental, así como en el Eje Neovolcánico. Incluso siendo diferentes, en todos ellos existe una relación importante entre el bosque y el ciclo del agua. Hasta el día de hoy se han realizado investigaciones muy interesantes sobre los bosques y su relación con la lluvia en Chiapas, Sonora y Veracruz, aunque, lamentablemente, no han sido muchas. Esto se debe a que los estudios a nivel global son relativamente recientes. Al ser México un país tan diverso en ecosistemas es de suma importancia comenzar a considerar líneas de investigación encaminadas a estos temas cuanto antes.

En particular deberíamos enfocarnos en apoyar la investigación y conservación de los ecosistemas más amenazados, como es el caso de las selvas caducifolias, las cuales son las que se deforestan en mayor medida en



En la Reserva de la Biosfera Montes Azules no sólo están los ríos como los conocemos normalmente; también están los ríos atmosféricos creados por el bosque.



el país. El no ahondar en la investigación nos privaría de describir, generar predicciones, realizar estrategias adecuadas de manejo y crear una evaluación precisa sobre la vegetación y su papel en la generación de lluvias en las diferentes regiones de nuestro país.

¿Algún caso en particular en México?

Yucatán es un estado bastante peculiar. Sufre de altas temperaturas durante la mayor parte del año, y en las ciudades se supera a veces los 40ºC. Cada año existe un periodo de sequía de más de cuatro meses, durante el cual la mayor parte de sus árboles pierden sus hojas. Curiosamente, es uno de los pocos estados en los que no existe la escasez de agua… y ¿por qué? Esto se debe al gran reservorio de agua presente en su inmenso acuífero de roca cárstica que es alimentado anualmente por las lluvias. Millones de personas dependemos de este acuífero, por lo que resulta necesario conocer el papel de los bosques en la atracción y generación de la lluvia en la región. Es muy probable que las selvas de Yucatán desempeñen un papel importante en el ciclo del agua. Lamentablemente, como mencionamos, la selva baja caducifolia —la mayor área forestal del estado de Yucatán— es uno de los ecosistemas más amenazados por la deforestación. No sólo eso, el cambio climático empuja a que la sequía se prolongue, lo que significaría un mayor riesgo de incendios forestales y su duración, por lo que el poder de las selvas disminuiría considerablemente.

Datos curiosos en el mundo sobre los bosques y su influencia en la lluvia



El Amazonas ha perdido una quinta parte de su área forestal, lo que puede reducir la lluvia en la temporada de secas hasta en un 21% para el año 2050.



En Borneo, la deforestación ha tenido como resultado alrededor de un 15% de reducción en la lluvia. Otros estudios la han relacionado con la reducción de lluvia en la India.



De 29 megaciudades estudiadas en el mundo, 19 dependen directamente de la evaporación y transpiración de los bosques para su suministro de agua.

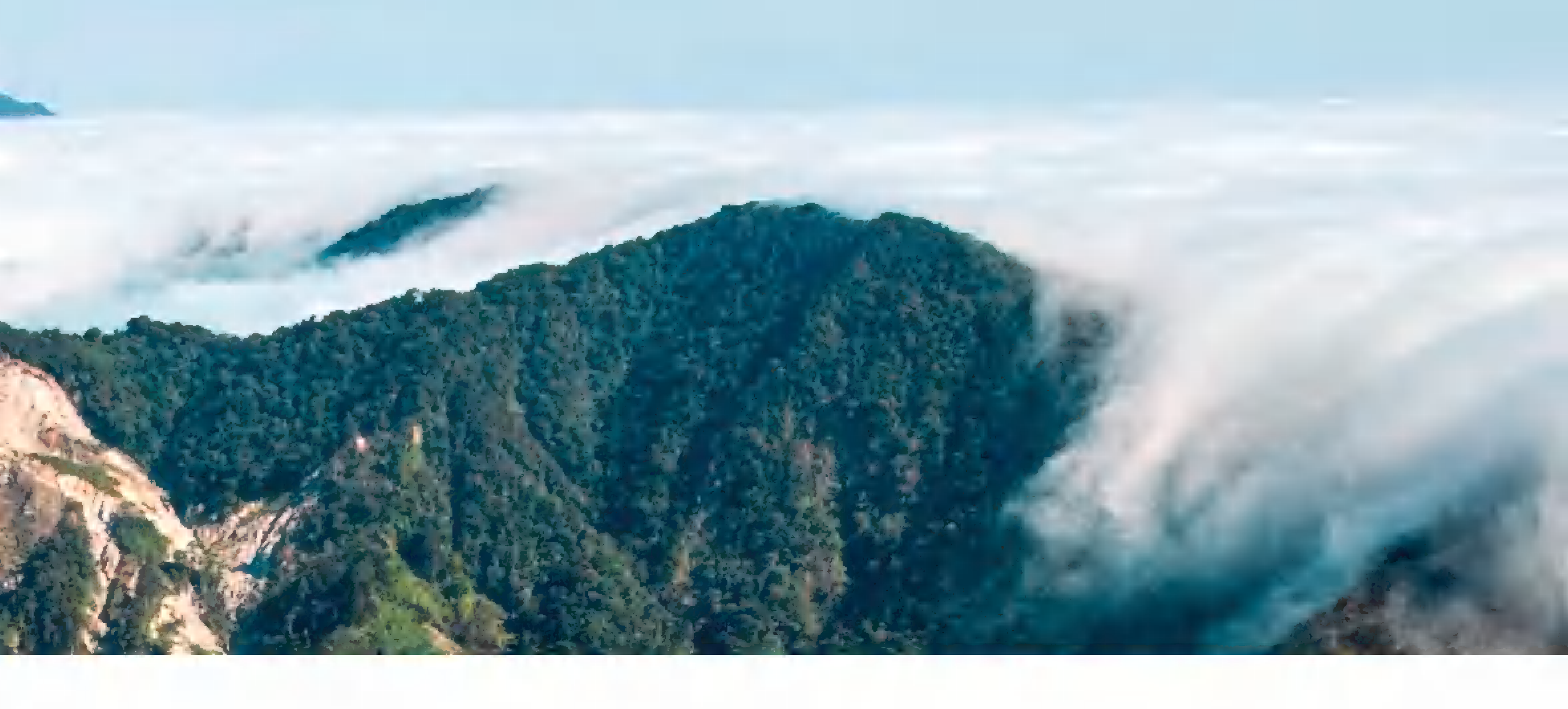


El río Nilo, del cual dependen 300 millones de personas, es alimentado hasta en un 40% por la lluvia generada por los bosques del Congo. La pérdida de bosques en esta zona podría reducir hasta en un 25% la cantidad de agua e este gran río.



En la África Subsahariana se estima que hasta 40% de la lluvia se obtiene de la transpiración de la vegetación. Mientras que en la región del Sahel podría ascender hasta un 90%.

Fuente: Pearce, 2018.



Cascadas en el cielo de la Sierra Madre de Chiapas gracias al inmenso poder de los bosques. Cuidar los bosques es cuidar el agua.

¿Qué podemos aprender de todo esto?

Los árboles resultan ser aún más extraordinarios de lo que pensábamos. Y de igual forma, ahora sabemos que los bosques tienen un desempeño relevante en el clima. Esto debe hacernos entender lo valiosos que son.

Recordemos que el poder de los bosques sobre el agua y el clima depende de la transpiración de las hojas de los árboles, la producción de VOCs y los sistemas de baja presión (bomba biótica) que se generan en consecuencia.

La ciencia, el manejo forestal y los beneficios que obtenemos de los bosques van siempre de la mano. Si nos dedicamos a conocer el funcionamiento de los bosques nos ayudará a mejorar la forma en la que se gestionen, su composición natural y a obtener el máximo beneficio de éstos. Ahora bien, las tareas a realizar para todas las personas, a nivel individual serían: respetar, reconocer y apoyar la labor científica, conocer nuestros bosques, protegerlos y aprender a ser consumidores responsables de los productos y servicios que ellos nos otorgan.

Por último, debemos darle particular importancia al agua. El mismo líquido sin el cual no podríamos sobrevivir será el recurso más escaso en los próximos 50 años; se ve amenazado por factores como la contaminación, la sobreexplotación pero sobre todo por la pérdida de bosques y desertificación. Cuidar nuestros bosques es cuidar el agua.

Bibliografía

[1] Tavares, J. P. N. 2012. Interaction between vegetation and the atmosphere in cloud and rain formation in the Amazon: a review. *Estudos Avançados* 26(74): 219-228. https://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142012000100015

[2] Gotsch, S., H. Asbjornsen y G. Goldsmith. 2016. Plant carbon and water fluxes in tropical montane cloud forests. *Journal of Tropical Ecology* 1: 1-17. 10.1017/S0266467416000341

[3] Makarieva, A., V. Gorshkov, D. Sheil, A. Nobre y B. L. Li. 2013. Where do winds come from? A new theory on how water vapor condensation influences atmospheric pressure and dynamics. *Atmos Chem Phys* 13: 1039-1056.

[4] Makarieva, A., V. Gorshkov, D. Sheil, A. Nobre, P. Bunyard y B. L. Li. 2013. Why Does Air Passage over Forest Yield More Rain? Examining the Coupling between Rainfall, Pressure, and Atmospheric Moisture Content. *Journal of Hydrometeorology* 15. 10.1175/JHM-D-12-0190.s1

[5] Martino, A., G. de Gennaro, A. Marzocca, L. Trizio y M. Tutino. 2011. Monitoring of volatile organic compounds in the cities of the metropolitan area of Bari (Italy). *Procedia Environmental Sciences* 4: 126-133

[6] Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. 2019. Ecosistemas, en https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/ecosistemas.html

[7] Muñoz-Villers, L. E., F. Holwerda, M. S. Alvarado Barrientos, D. Geissert, B. Marín Castro, . Gómez Tagle, J. McDonnell, H. Asbjornsen, T. Dawson y L. Adrian Bruijnzeel. 2015. Efectos hidrológicos de la conversión del bosque de niebla en el centro de Veracruz, México. *Bosque (Valdivia)* 36(3): 395-407. https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000300007

[8] Pearce. F. 2018. Rivers in the Sky: How Deforestation Is Affecting Global Water Cycles. *Yale Environment 360*, en https://e360.yale.edu/features/how-deforestation-affecting-global-water-cycles-climate-change

[9] Sheil, D. 2018. Forests, atmospheric water and an uncertain future: the new biology of the global water cycle (in Forest Ecosystems). *Forest Ecosystems* 5: 1-22. 10.1186/s40663-018-0138-y

[1] Centro de Investigación Científica de Yucatán / Recursos Naturales, Mérida, Yucatán; daniel.fernandez@cicy.mx

[2] Centro de Investigación Científica de Yucatán / Recursos Naturales, Mérida, Yucatán; andrade@cicy.mx

[3] Centro de Investigación Científica de Yucatán / Unidad Ciencias del Agua (UCIA), Cancún, Quintana Roo; eduardo.cejudo@cicy.mx



Adaptación a un ambiente cambiante: LOS ANFIBIOS

SARA COVARRUBIAS[1], CARLA GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ[2] Y CLEMENTINA GONZÁLEZ[1, 3]

La ranita verduzca (*Agalychnis dacnicolor*) es endémica del bosque tropical caducifolio del occidente de México.
Fotos: © Juan Manuel González Villa

La diversidad de especies que observamos en la naturaleza hoy día es resultado de la evolución. A lo largo de muchas generaciones, los organismos han cambiado sus características, principalmente a través de la selección natural, uno de los principales mecanismos de evolución. Por medio de ella, los individuos con características que les permiten estar adaptados a las condiciones del ambiente en el que habitan son capaces de sobrevivir, reproducirse y heredar esas características a su descendencia. Estas características, que pueden ser morfológicas (forma, tamaño, color), fisiológicas (tolerancia térmica, resistencia a la sequía) y/o conductuales (vocalizaciones, despliegues de cortejo, tipo de forrajeo), constituyen el fenotipo de un organismo, el cual está determinado por sus genes (genotipo). La adaptación es entonces el proceso a través del cual las características de los organismos se ajustan mejor a su ambiente y les confieren ventajas para su sobrevivencia y éxito reproductivo (adecuación). Dentro de las poblaciones naturales existen diferentes fenotipos (con sus genotipos asociados), sobre los cuales la selección natural puede actuar, eligiendo aquellos que tienen mayor adecuación.

Los ecosistemas de la Tierra proporcionan una gran variedad de condiciones ambientales (hábitats) para albergar a un sinfín de organismos. Cuando los organismos están adaptados a las condiciones ambientales específicas de su hábitat, el movimiento de individuos y por lo tanto de genes a otros hábitats con características ambientales distintas puede disminuir, lo que resulta en una adaptación local.[1] Para que una especie se pueda adaptar localmente es indispensable contar con variación genética suficiente para que los individuos tengan "opciones disponibles" para modificar su fenotipo y así adecuarse al nuevo ambiente. Es importante no confundir adaptación local con plasticidad fenotípica, que se refiere a la capacidad de los organismos de modificar su fenotipo como respuesta a los cambios en el ambiente sin que sus características genéticas se vean alteradas.

Las condiciones ambientales y, por lo tanto, el hábitat donde viven las especies pueden cambiar de forma natural a lo largo del tiempo. Sin embargo, las actividades humanas pueden alterar las condiciones del medio ambiente (incremento en los niveles de acidificación de cuerpos de agua, en la radiación ultravioleta y la temperatura), afectando la adecuación de los organismos. Como respuesta a estos cambios los individuos pueden responder potencialmente a las nuevas condiciones migrando a sitios más favorables, mediante plasticidad fenotípica o adaptación local. Sin embargo, la migración no es una opción para organismos con baja capacidad de dispersión, y bajo un escenario de continuo cambio ambiental, la plasticidad fenotípica no permitirá la persistencia de los organismos. Por lo tanto, es fundamental contar con variación genética para poder adaptarse lo-

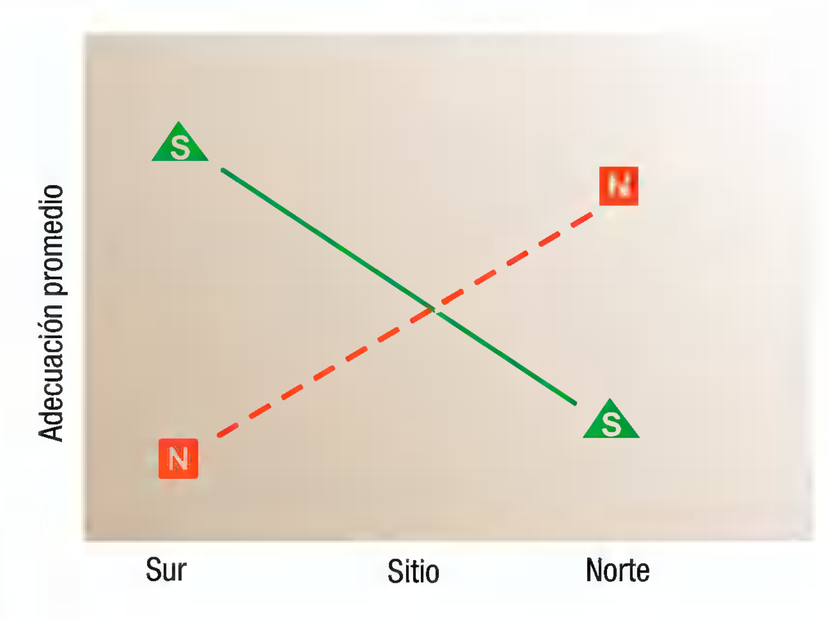
calmente a las nuevas condiciones ambientales, ya que de otro modo podrían extinguirse. Es por esto que el estudio de la adaptación local es relevante en un contexto evolutivo, de conservación y de cambio climático.

¿Cómo se puede detectar la adaptación local?
Los experimentos de jardín y trasplantes recíprocos constituyen herramientas clásicas para estudiar la adaptación local. El primero consiste en que individuos de diferentes poblaciones con condiciones ambientales contrastantes son llevados y criados bajo las mismas condiciones controladas, cuantificándose su sobrevivencia y la capacidad de modificar su fenotipo, ya sea por factores genéticos o en respuesta al cambio en las condiciones ambientales. En los experimentos de trasplante recíproco, los individuos de poblaciones con ambientes contrastantes son intercambiados para observar y comparar su desempeño con los individuos nativos. Sin embargo, estos experimentos pueden ser costosos y no aplicables a organismos que no se pueden reproducir fácilmente en el laboratorio.

Desde hace algunas décadas, los estudios de adaptación local se realizan también utilizando regiones específicas del ADN del genoma de un organismo. Recientemente, con el desarrollo de la tecnología se pueden obtener datos de miles a millones de regiones del genoma de múltiples individuos. Paralelamente, se han desarrollado diferentes métodos para detectar adaptación local, es decir, partes del genoma que se encuentran bajo selección natural. Entre los más empleados se encuentra la identificación de "valores atípicos", es decir, aquellas partes del genoma que presentan mayores diferencias genéticas entre poblaciones en comparación de lo que se esperaría bajo neutralidad (ausencia de selección) y su posible función. Por otro lado, el método de "correlación genotipo-ambiente" busca asociaciones entre diferencias genéticas y ambientales.[2]

Los anfibios como modelo para estudiar patrones de adaptación local
Los anfibios están compuestos por tres grupos: sapos y ranas (Orden Anura), salamandras y ajolotes (Orden Caudata) y cecilias (Orden Gymnophiona). México cuenta con 396 especies de anfibios, de las cuales 273 son endémicas,[3] siendo el quinto país a nivel mundial en riqueza de anfibios. Sin embargo, este grupo está padeciendo la peor crisis de extinción de su historia.[4] En México, se estima que un 43% de la diversidad de anfibios está amenazada, principalmente como resultado de la destrucción de sus hábitats, contaminación ambiental, enfermedades emergentes y el cambio climático.

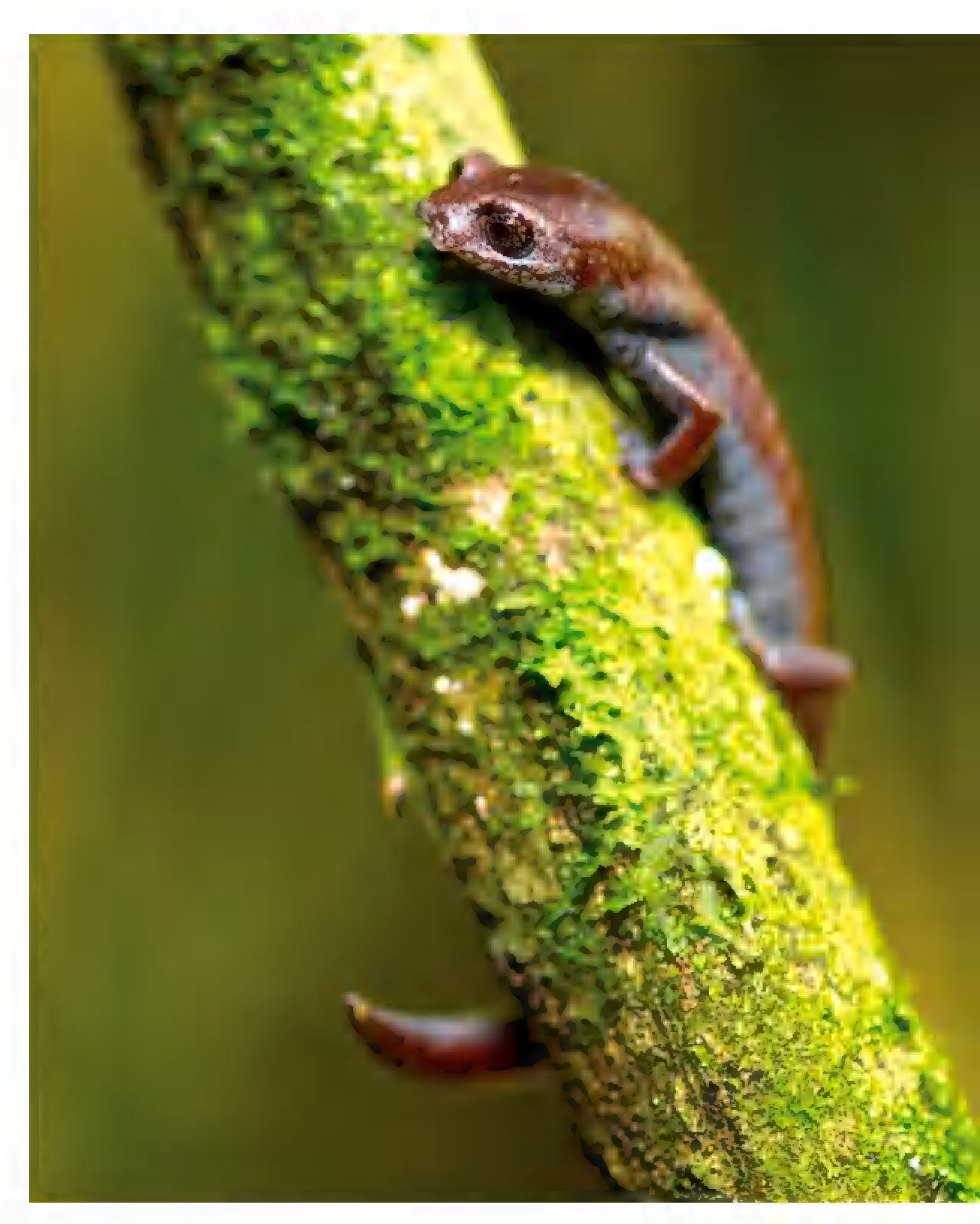
La mayoría de los anfibios tienen un ciclo de vida bifásico: una fase ocurre en el agua y otra en la tierra.



Diferencias en la adecuación promedio (sobrevivencia y éxito reproductivo) observadas en individuos de una especie en su sitio de origen y en sitios de donde no son originarias.
(Figura modificada de D. Cummings, W. J. Kennington y T. R. Bitterli, 2019).

Durante la fase acuática, los huevos se desarrollan en una larva de vida libre, adaptada para alimentarse, respirar y moverse. En la fase terrestre se lleva a cabo la metamorfosis en la que adquieren la forma adulta. Los anfibios son organismos ectotermos, es decir, regulan su temperatura a partir de la temperatura ambiental, y su piel es permeable, lo cual es importante para el intercambio de gases y la osmorregulación.

La salamandra de cafetal (*Aquiloeurycea cafetalera*) es endémica del bosque de niebla con distribución muy restringida.



Rana del volcán de San Martín (*Craugastor loki*) en un bosque tropical subcaducifolio de Veracruz.



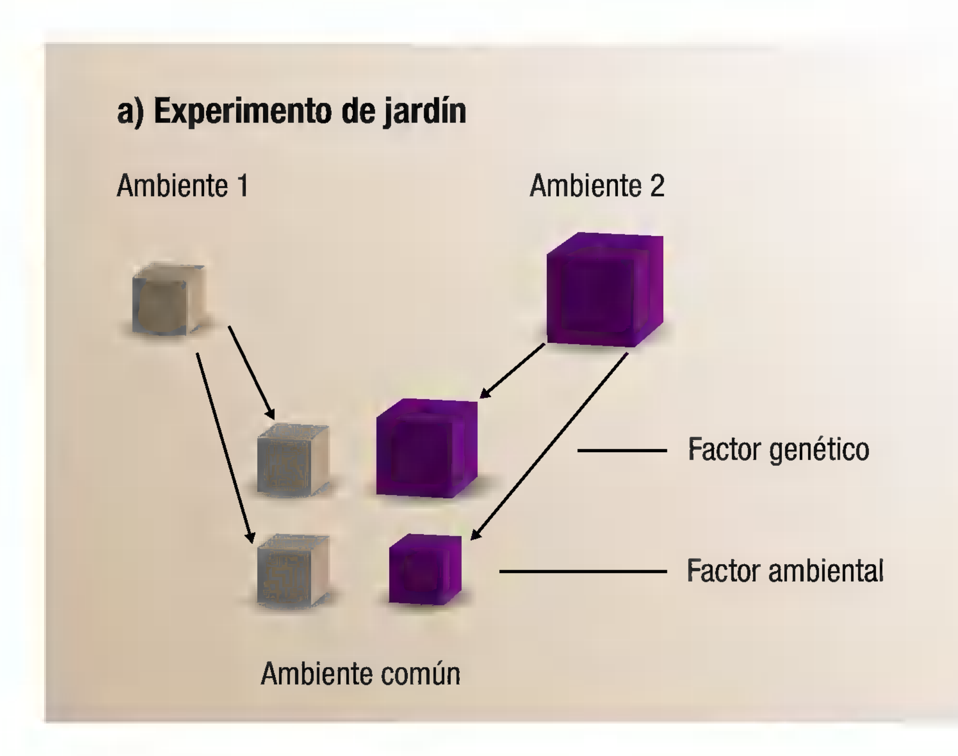
Debido a que son ectotermos, los anfibios son muy sensibles a cambios en la temperatura. Además, el aumento de la temperatura, como resultado del cambio climático, favorece el desarrollo y expansión de las enfermedades emergentes. La permeabilidad de la piel los hace vulnerables a modificaciones en las condiciones del agua como la salinidad y la presencia de contaminantes (herbicidas y pesticidas). Todas estas características originan que necesiten adaptarse a los cambios del hábitat.

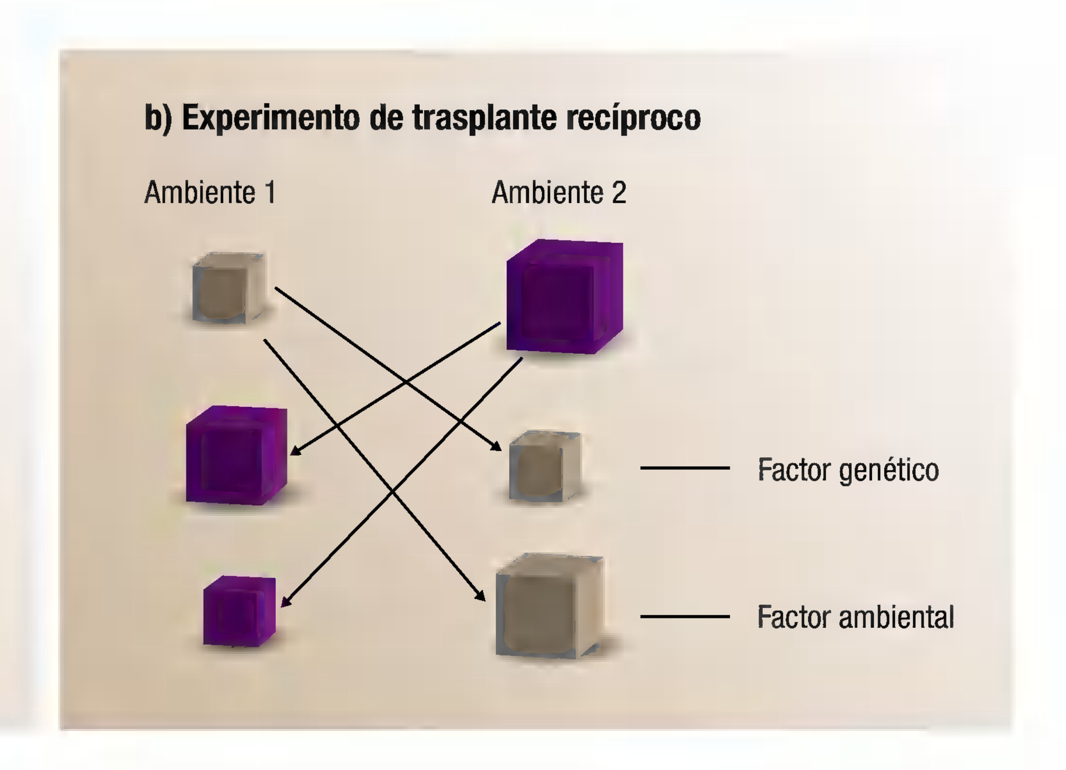
Adaptación local en anfibios: casos de estudios ecológicos y genéticos

En un estudio realizado con poblaciones de *Rana sylvatica* evaluaron, mediante un experimento de jardín, si las ranas originarias de pozas con dosel abierto y cerrado están adaptadas a sus respectivos ambientes.[5] Los resultados indicaron que las ranas provenientes de pozas con dosel abierto tienen colas más largas y cuerpos menos profundos, debido a la mayor disponibilidad de alimento y de depredadores. Por el contrario, las ranas de pozas con dosel cerrado tienen cuerpos más profundos y colas más pequeñas, en virtud de la menor cantidad de depredadores y alimento disponible en esas pozas, lo que incrementa la competencia entre individuos.

En otro estudio realizado con una especie de salamandra (*Ambystoma maculatum*) en Estados Unidos, se evaluó si la especie está adaptada a la presencia de sus dos principales depredadores: la larva de otra salamandra y la de un escarabajo.[6] Las larvas difieren en abundancia dentro de las pozas y en su habilidad para atacar grandes presas. En un experimento de jardín, las larvas de *A. maculatum* fueron expuestas a cada uno de los depredadores. Los resultados indicaron que

Métodos ecológicos para evaluar adaptación local (a) experimento de jardín y (b) trasplante recíproco. En ambos experimentos se muestran las diferencias en el fenotipo debido a factores genéticos o ambientales en el nuevo ambiente.







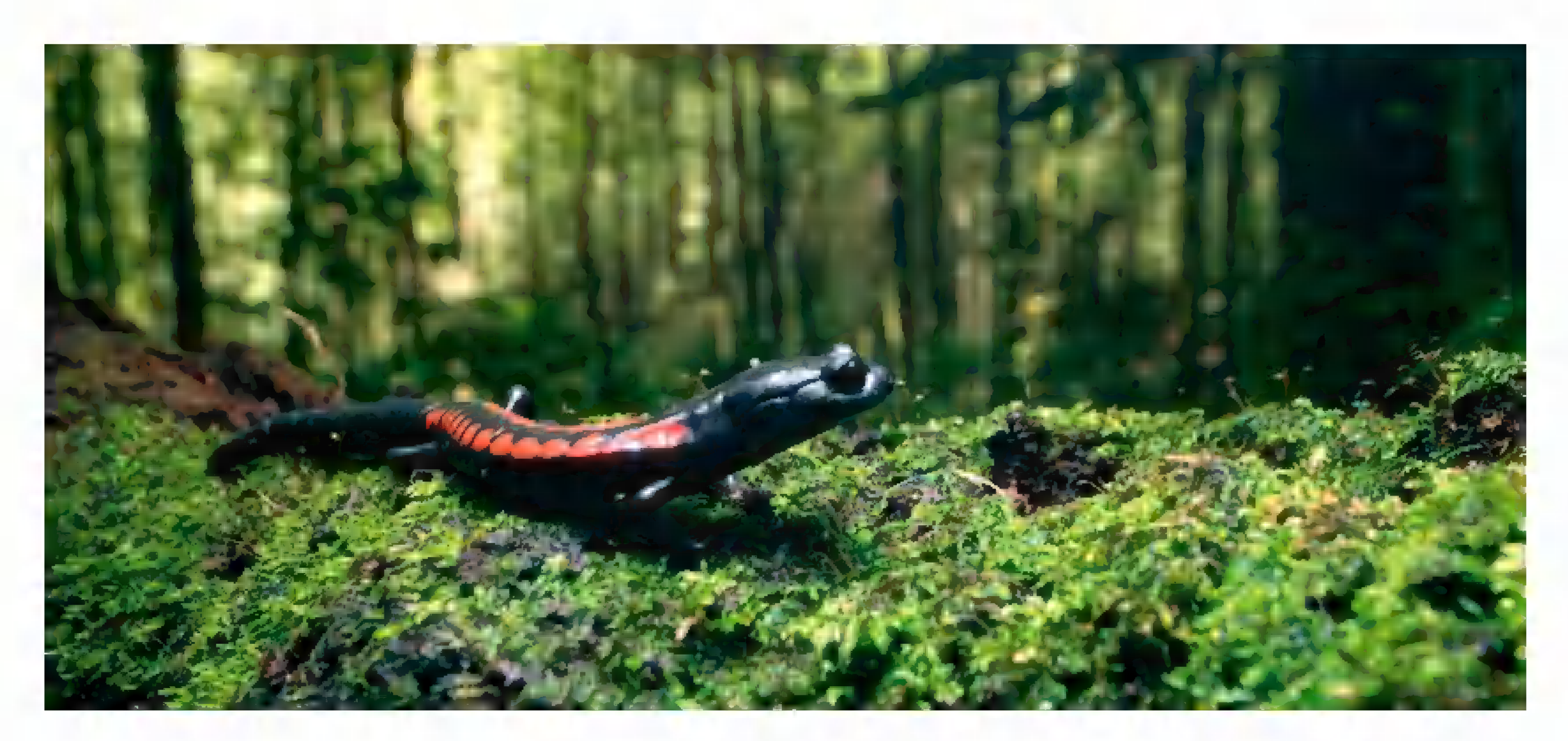
La rana pico de pato del Pacífico (*Diaglena spatulata*), es endémica del bosque tropical caducifolio y está amenazada por la pérdida de hábitat.

los individuos expuestos a altas densidades de larvas del escarabajo desarrollaron músculos más grandes en la cola, haciéndolas más eficientes para escapar de los depredadores. Por el contrario, los individuos expuestos a altas densidades del depredador menos hábil para atacar no mostraron tal desarrollo en los músculos.

La adaptación de los anfibios a ambientes característicos de altitudes elevadas ha sido un tópico de interés por décadas. Por ejemplo, en la rana tibetana *Nanorana parkeri* —que se distribuye desde 2800 hasta 4000 metros de altura en la placa Qinghai-Tibetana— se investigó, usando datos genómicos, si las diferencias en los factores ecológicos de distintas altitudes han promovido adaptación local.[7] Los resultados indicaron que los genes involucrados con funciones como circulación sanguínea, respuesta a la hipoxia y radiación UV están asociados a individuos de altas elevaciones. Esto sugiere adaptación local a las condiciones adversas de altas elevaciones, por ejemplo poco oxígeno y alta radiación.

En Australia, a lo largo de un gradiente de temperatura promedio anual (que disminuye de norte a sur) y de precipitación (que incrementa de norte a sur), se identificaron 413 regiones del genoma de la rana *Pseudophryne guentheri* asociadas con temperatura, evaporación y humedad del suelo. También se identificaron genes involucrados en la maduración de ovocitos, que facilitan el rápido desarrollo de embriones en climas secos.[8] A pesar de que estos resultados sugieren adaptación local, los bajos niveles de variación genética detectados en algunas poblaciones de la especie podrían limitar su capacidad de adaptación al constante cambio climático.

Los resultados de estos y otros estudios sugieren que las poblaciones de especies de anfibios estudiadas



La salamandra falsa gigantesca del arroyo (*Isthmura gigantea*) es endémica del bosque de niebla y se encuentra críticamente amenazada.



Ranita de cristal costeña (*Hyalinobatrachium fleischmanni*) protegiendo su puesta en un bosque tropical subcaducifolio de Veracruz.

en diversos ecosistemas del mundo se encuentran localmente adaptadas a las condiciones bióticas y abióticas del lugar en que habitan. En México son pocos los estudios de adaptación local que se han realizado, a pesar de la importancia de la diversidad de anfibios y ecosistemas que presenta. En una colaboración entre la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y el Instituto de Ecología, A.C., estamos desarrollando un estudio de adaptación local en la ranita verduzca (*Agalychnis dacnicolor*), una rana que se encuentra exclusivamente en los bosques tropicales caducifolios del occidente de México. El principal objetivo de nuestro estudio es evaluar, mediante herramientas genómicas, si las poblaciones de *A. dacnicolor* localizadas en un gradiente altitudinal están adaptadas localmente a distintos ambientes. Bajo un contexto de cambio climático, los resultados de nuestro estudio serán importantes para determinar el posible efecto que el aumento de la temperatura y las sequías tendrán en las poblaciones de *A. dacnicolor*. Debido a las constantes amenazas a las que están sujetas las poblaciones de anfibios y por la tasa acelerada de cambio climático, en la que se prevé que habrá un incremento en la intensidad de condiciones extremas, es importante evaluar el potencial de las poblaciones para responder ante el cambio ambiental.

Bibliografía

[1] Kawecki T. J. y D. Ebert. 2004. Conceptual issues in local adaptation. *Ecology letters* 7: 1225-1241.

[2] De Mita, S., A. C. Thuillet, L. Gay, N. Ahmadi, S. Manel, J. Ronford y Y. Vigouroux. 2013. Detecting selection along environmental gradients: analysis of eight methods and their effectiveness for outbreeding and selfing populations. *Molecular Ecology* 22: 1383-1399.

[3] AmphibiaWeb. 2019. https://amphibiaweb.org, University of California, Berkeley, Estados Unidos. Última consulta: 6 de diciembre de 2019.

[4] Wake, D. B. y V. T. Vredenburg. 2008. Colloquium paper: Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 11466-11473.

[6] Zellmer, A. J. 2018. Microgeographic morphological variation across larval wood frog populations associated with environment despite gene flow. *Ecology and Evolution* 8: 2504-2517.

[7] Urban, M. C. 2010. Microgeographic adaptations of spotted salamander morphological defenses in response to a predaceous salamander and beetle. *Oikos* 119: 646-658.

[8] Wang, G. D., B. L. Zhang, W. W. Zhou, Y. X. Li, J. Q. Jin, Y. Shao, *et al*. 2018. Selection and environmental adaptation along a path to speciation in the Tibetan frog *Nanorana parkeri*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115: E5056–E5065.

[9] Cummings, D., W. J. Kennington y T. R. Bitterli. 2019. A genome-wide search for local adaptation in a terrestrial-breeding frog reveals vulnerability to climatic change. *Global Change Biology* 25: 3151-3162.

[10] Savolainen, O., M. Peralta y J. Merila. 2013. Ecological genomics of local adaptation. *Nature Reviews Genetics* 14: 807-820.

[11] Miaud, C. y J. Merilä. 2000. Local adaptation or environmental induction? Causes of population differentiation in alpine amphibians. *Biota* 2:31-50.

[1] Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[2] Red de Biología Evolutiva, Instituto de Ecología, A.C.

[3] clementina.gonzalez@umich.mx



Visita la exposición

VISIONES DE NUESTRA NATURALEZA

5 AÑOS DE NATURALEZA Y ARTE

2015 – 2019

Popocatépetl | Guillermo Isaac Gutiérrez Velasco

Exposición que presenta **81** de las mejores fotografías que han participado a lo largo de estos cinco años; es un agradecimiento a todos los colaboradores aliados que han hecho posible la realización del concurso Mosaico Natura México. Su compromiso nos ayuda a crear conciencia de la necesidad de conservar, restaurar y manejar sustentablemente **la riqueza natural de México**.

Del 6 de agosto al 3 de noviembre 2020
Galería abierta de las rejas de Chapultepec
Av. Paseo de la Reforma s/n, Ciudad de México





































































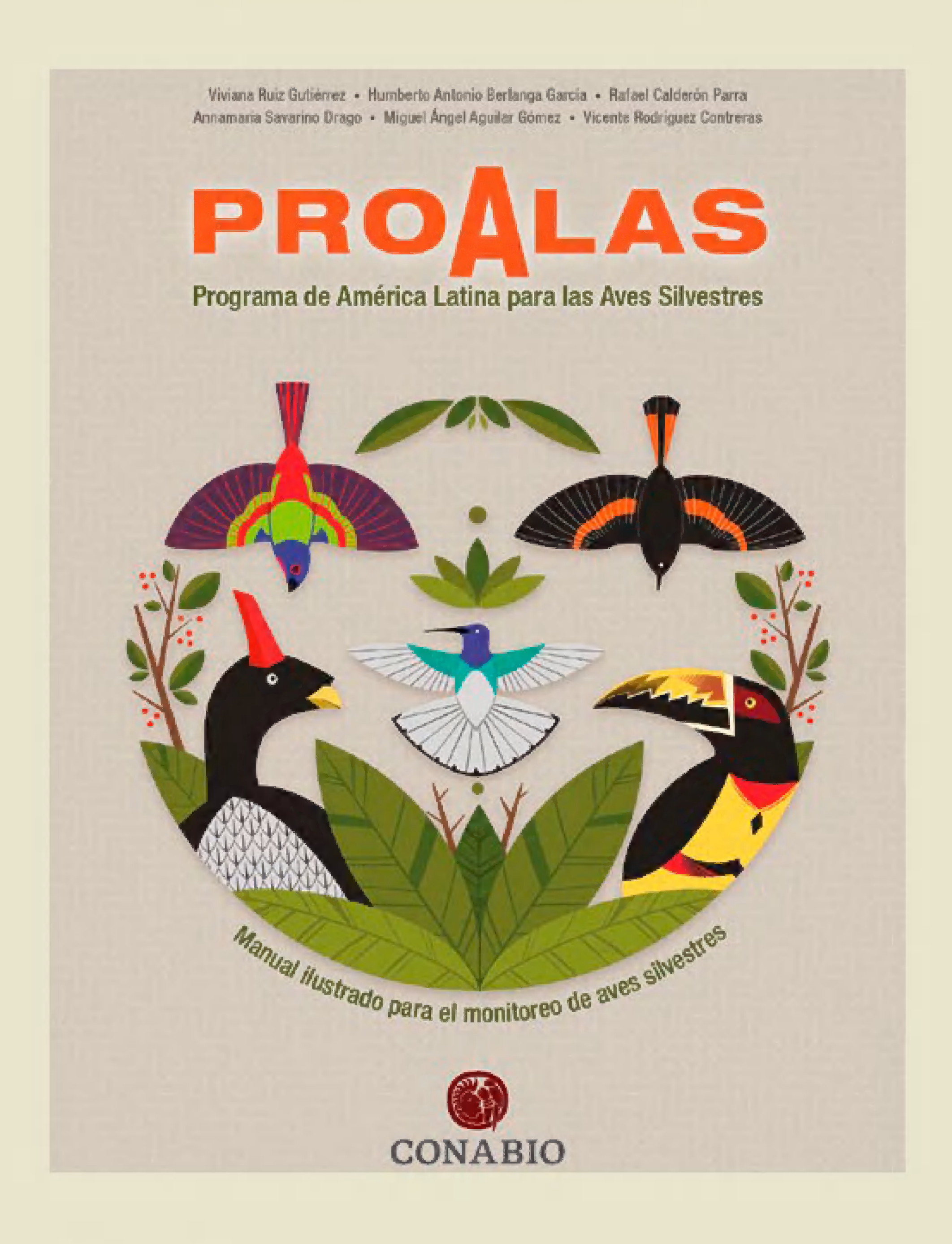












PROALAS
Programa de América Latina para las Aves Silvestres

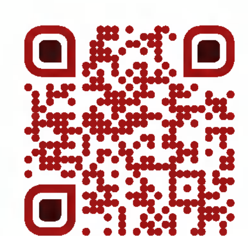
PROALAS es un programa de monitoreo diseñado para conocer y estudiar el estado de las poblaciones de aves silvestres en América Latina. Utiliza la plataforma de eBird (o aVerAves en México) para compilar, ordenar y validar la información de campo, lo que permite generar resultados a corto plazo, mediante el análisis de los datos. Opera mediante la participación voluntaria de personas capacitadas en la identificación y monitoreo de aves, en comunidades rurales y campesinas de Latinoamérica.

Con el fin de fortalecer las capacidades y potenciar el valor científico de los registros (observaciones) de los monitores comunitarios de aves, el Laboratorio de Ornitología de Cornell y la Coordinación de la Iniciativa para la Conservación de Aves de América del Norte y la CONABIO, prepararon el presente manual ilustrado como una herramienta para unificar esfuerzos de monitoreo y conservación de aves en América Latina.

Gracias a PROALAS se puede conocer la distribución de las especies; documentar las relaciones entre especies y hábitats; conocer el uso de recursos por las aves a diferentes escalas espaciales y temporales; estimar la abundancia de las especies y la tendencia de las poblaciones; evaluar el efecto de medidas de manejo y conservación, los impactos ambientales y estimar la integridad ecológica; valorar el impacto de estrategias de manejo forestal o proyectos agroforestales en la conservación de las aves y la biodiversidad, así como el impacto de proyectos productivos, y generar información para esquemas de certificación ambiental y productiva.



Conoce la riqueza natural de México
Biodiversidad mexicana
www.biodiversidad.gob.mx



La misión de la CONABIO es promover, coordinar, apoyar y realizar actividades dirigidas al conocimiento de la diversidad biológica, así como a su conservación y uso sustentable para beneficio de la sociedad.

Sigue las actividades de CONABIO a través de las redes sociales

Biodiversitas es de distribución gratuita. Prohibida su venta.

Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor: 04-2013-060514223800-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 13288. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 10861.

EDITOR RESPONSABLE: Fulvio Eccardi Ambrosi
DISEÑO: Tools Soluciones
CUIDADO DE LA EDICIÓN: Adriana Cataño y Leticia Mendoza
PRODUCCIÓN: Gaia Editores, S.A. de C.V.
IMPRESIÓN: Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V.

fulvioeccardi@gmail.com • biodiversitas@xolo.conabio.gob.mx
COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD
Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903, Parques del Pedregal, Tlalpan 14010 Ciudad de México
Tel. 5004-5000, www.gob.mx/conabio. Distribución: nosotros mismos